

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

**In re U.S. Patent Application of**

**KIKAWA et al.**

**Application Number: To be Assigned**

**Filed: Concurrently Herewith**

**For: LASER DIODE AND MANUFACTURING METHOD  
THEREOF**

**ATTORNEY DOCKET NO. NITT.0186**

**Honorable Assistant Commissioner  
for Patents  
Washington, D.C. 20231**

**REQUEST FOR PRIORITY  
UNDER 35 U.S.C. § 119  
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

Sir:

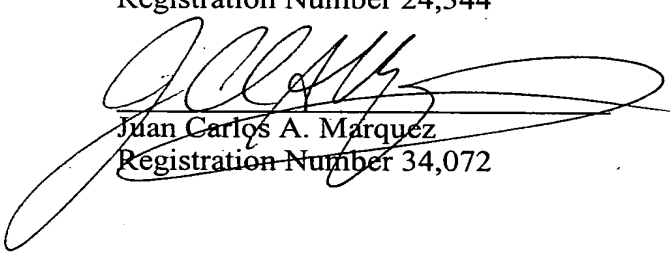
In the matter of the above-captioned application for a United States patent, notice is hereby given that the Applicant claims the priority date of December 10, 2003, the filing date of the corresponding Japanese patent application 2003-411404.

A certified copy of Japanese patent application 2003-411404 is being submitted herewith. Acknowledgment of receipt of the certified copy is respectfully requested in due course.

Respectfully submitted,

\_\_\_\_\_  
Stanley P. Fisher  
Registration Number 24,344

**REED SMITH LLP**  
3110 Fairview Park Drive  
Suite 1400  
Falls Church, Virginia 22042  
(703) 641-4200  
February 6, 2004

  
\_\_\_\_\_  
Juan Carlos A. Marquez  
Registration Number 34,072

# **PATENT OFFICE JAPANESE GOVERNMENT**

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this office.

Date of Application : December 10, 2003  
Application Number : Patent Application No. 2003-411404  
Applicant (s) : Hitachi, Ltd.  
OpNext Japan, Inc

Dated this 22nd day of January, 2004

---

Yasuo IMAI  
Commissioner,  
Patent Office

Certificate No. 2004-3001826

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年 1 2 月 1 0 日  
Date of Application:

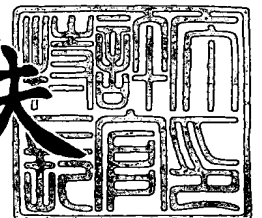
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 4 1 1 4 0 4  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 4 1 1 4 0 4 ]

出      願      人                      株式会社日立製作所  
Applicant(s):                      日本オプネクスト株式会社

2 0 0 4 年    1 月 2 2 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 1 8 2 6

【書類名】 特許願  
【整理番号】 NT03P1039  
【提出日】 平成15年12月10日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 H01S 05/00  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所  
                                中央研究所内  
    【氏名】 紀川 健  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所  
                                中央研究所内  
    【氏名】 中原 宏治  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所  
                                中央研究所内  
    【氏名】 野本 悦子  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000005108  
    【氏名又は名称】 株式会社日立製作所  
【特許出願人】  
    【識別番号】 301005371  
    【氏名又は名称】 日本オペネクト株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100068504  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 小川 勝男  
    【電話番号】 03-3537-1621  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100086656  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 田中 恭助  
    【電話番号】 03-3537-1621  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 081423  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

基板面に対し水平に共振器を有する水平共振器型半導体レーザにおいて、  
半導体基板と、  
前記半導体の内部に形成された活性層と、  
前記半導体の端部に形成された共振器ミラーと、  
前記共振器ミラーとなる半導体端面に接して形成された第 1 の絶縁膜および前記第 1 の絶縁膜上に積層された絶縁膜とからなる反射膜とを有し、  
前記第 1 の絶縁膜が酸素欠乏状態の酸化アルミニウムからなり、前記酸化アルミニウムの組成が  $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$ ;  $0.03 \leq x \leq 0.3$  であることを特徴とする半導体レーザ。

**【請求項 2】**

前記酸化アルミニウムの組成が  $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$ ;  $0.1 \leq x \leq 0.2$  であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ。

**【請求項 3】**

前記活性層は、アルミニウムを含む材料からなることを特徴とする請求項 1 若しくは 2 記載の半導体レーザ。

**【請求項 4】**

前記活性層のアルミニウム含有量は、III 族元素に対する組成比が 10at% 以上であることを特徴とする請求項 3 記載の半導体レーザ。

**【請求項 5】**

前記半導体基板に、InP 基板を用いることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の半導体レーザ。

**【請求項 6】**

前記第 1 の絶縁膜は、酸素欠乏状態の酸化アルミニウム膜に窒化アルミニウムを添加した酸窒化アルミニウムであることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の半導体レーザ。

**【請求項 7】**

前記反射膜は、各層の膜厚と内部応力の積の総和で定義される総応力が  $150\text{Pa} \cdot \text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の半導体レーザ。

**【請求項 8】**

前記反射膜の総応力が  $100\text{Pa} \cdot \text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の半導体レーザ。

**【請求項 9】**

基板面に対し水平に共振器を有する水平共振器型半導体レーザの製造方法において、  
半導体基板を準備する工程と、  
前記半導体に活性層を形成する工程と、  
前記半導体の端部に共振器ミラーを形成する工程と、  
前記共振器ミラーとなる半導体端面に接して第 1 の絶縁膜を形成し、前記第 1 の絶縁膜上に絶縁膜を堆積してなる反射膜を形成する工程とを有し、  
前記第 1 の絶縁膜は、酸素欠乏状態の酸化アルミニウムからなり、前記酸化アルミニウムの組成が  $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$ ;  $0.03 \leq x \leq 0.3$  であることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

**【請求項 10】**

前記共振器ミラーを形成する半導体端面に、その 1 層目に酸素欠乏の酸化アルミニウム膜を有する端面保護膜若しくは端面反射膜を形成する工程と、

アルゴンガスと酸素ガスの混合ガスを用いてプラズマ若しくはイオン線を金属アルミニウムターゲットに照射することにより成膜反応を生ぜしめる反応性スパッタ法若しくはイオンビームスパッタ法により、前記酸化アルミニウム膜を成膜する工程とを有することを特徴とする請求項 9 記載の半導体レーザの製造方法。

**【請求項 11】**

前記請求項 9 または 10 記載の半導体レーザの製造方法において、

前記酸化アルミニウム膜中に混入されるアルゴン組成が1at%以下となるように成膜することを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項 1 2】

少なくとも光を集光するための光学レンズと、光を外部に導く光ファイバと、請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の半導体レーザとを一体化したことを特徴とする半導体レーザモジュール。

【書類名】明細書

【発明の名称】半導体レーザ及びその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体レーザに代表される半導体発光素子に係り、特に光ディスクや光磁気ディスクの書き込み用光源、及び光通信用モジュール、光通信システム、光ネットワークに用いるのに好適な半導体光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、光ディスクや光磁気ディスクの書き込み用として、また光通信システムにおいても高信頼半導体レーザが求められている。これらの半導体レーザには長時間、安定に基本モードで動作することが要求される。これら半導体レーザの光出射面を形成する半導体表面上には絶縁膜からなるコーティング膜が形成されている。これは適正な反射率を得ることにより光取出し効率を大きくすると共に閾値キャリア密度の増加による最大出力の低下を防ぐ為である。このコーティング膜としては従来、多くのレーザにおいて共振器面の一方に低反射率膜として酸化硅素薄膜、他方に高反射率膜として酸化硅素薄膜と水素化非晶質硅素薄膜からなる積層膜が用いられている。例えば非特許文献1に記載のT. Yuasaらによる報告等がある。

【0003】

また、共振器端面が酸化することに起因した光吸収を抑制するために、劈開による端面形成と端面保護膜形成を超高真空中で一貫して行うの真空一貫プロセスが試みられている。例えば特許文献1によれば、超高真空中でレーザウエハを劈開して共振器端面を形成し、直ちにSiからなる薄膜を堆積させることによって共振器端面における半導体表面に酸化膜が形成されることを抑制している。

端面保護膜に酸化アルミニウムを用いる場合、酸化アルミニウム膜に酸素欠損による欠陥があると膜の耐湿性に問題が生じるため、酸化アルミニウム膜表面に水分子を付着し、欠陥を補償することにより耐湿性改善が図れることが特許文献2に開示されている

更に、特許文献3にレーザ素子の端面コーティング膜の内部応力低減により半導体レーザの信頼性が向上することが開示されている。

【0004】

【特許文献1】米国特許第5063173号

【0005】

【特許文献2】特開2003-86884号公報

【特許文献3】特開2002-223026号公報

【非特許文献1】アプライド フィジックス レターズ34巻、685ページ(Applied Physics Letters, vol. 34, pp. 685)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

高信頼性半導体レーザではレーザ駆動動作により生じる端面劣化を抑制する必要がある。端面劣化は、レーザ駆動動作により発振される光の一部が端面の非発光再結合中心に吸収されることにより端面温度が上昇し、それにより非発光再結合中心が増殖し端面温度が更に上昇する、といったメカニズムの繰り返しにより生じる。非発光再結合中心の多くは半導体中に酸素が拡散して出来る禁制帯中のトラップ準位によるものである。従って、端面劣化抑制のためには酸素の半導体端面への拡散の抑制が必須である。

【0007】

端面劣化は活性層にアルミニウムを含む構造の半導体レーザで著しい。本発明者らの独自の検討の結果、活性層にアルミニウムが含まれる場合、半導体に隣接して非晶質珪素膜、若しくは微結晶珪素膜が形成されると、界面近傍で半導体のバンドが電子蓄積状態となるようなバンドの曲がりが生じ、酸素の拡散がなくても界面での漏洩電流が増大して劣化

が加速されることが判明した。

#### 【0008】

また、半導体端面に、半導体に隣接して酸化珪素膜、或いは窒化珪素膜を成膜すると、半導体中のアルミニウムは珪素よりも酸素と結合しやすいために、膜中の酸素が半導体へ拡散し、アルミニウムとの結合が生じて劣化が促進されることも判明した。これは窒化珪素膜を用いた場合でも膜中に含まれる少量の酸素が優先的にアルミニウムと結合するため、抑制効果は得られない。

#### 【0009】

アルミニウムが含まれていない素子においても、半導体中の砒素が酸素と結合することによりトラップ準位を形成し、これにより同様の劣化が生じる。

更に、端面に形成される反射膜は所望の反射率が得られるように多層構造を有することが多い。各層のそれぞれの内部応力は小さくても多層構造であるために半導体にかかる総応力は大きくなる。このため半導体結晶に生じる歪量が大きくなるので界面に酸素が拡散しやすくなり、端面の劣化を抑制するのは困難となる。

#### 【0010】

本発明はレーザ駆動動作に伴う酸素の拡散に起因する半導体レーザの劣化を抑制し、信頼性の高い半導体レーザを実現する素子構造、及びその製造方法を提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

上記課題は、例えば図1に示すように半導体レーザの共振器端面101上に、半導体に隣接して酸素欠乏状態の酸化アルミニウム102を形成することにより達成される。反射率の調整のために、酸化アルミニウム102の上に少なくとも酸化アルミニウムと異なる屈折率を有する絶縁膜を1層以上含む光学薄膜106、107を積層してもよい。光学薄膜106、107には高屈折率膜として非晶質珪素膜、窒化珪素膜、酸化チタン膜、酸化タンタル膜、酸化ハフニウム膜、窒化アルミニウム膜など屈折率が1.9乃至はそれ以上の絶縁膜を用いることが出来る。また、低屈折率膜として酸化アルミニウム膜のほかに、酸化珪素膜、弗化マグネシウム膜、弗化セリウム膜など屈折率が1.7以下の膜を用いることが出来る。但し、後述するように、窒化珪素膜などの窒化膜は内部応力が大きいために反射膜の総応力が増加することによる信頼性への悪影響があり、その使用には注意が必要である。

#### 【0012】

種々の検討の結果、酸化アルミニウムの酸素組成の程度が化学量論組成の10%以下である場合、即ち、化学式において $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$  ( $x \leq 0.3$ )である場合、膜中の酸素欠陥による耐湿性の低下、及び欠陥に伴う光の吸収と半導体/酸化アルミニウム界面に生じる界面準位の増加はいずれも無視できる程度であり、素子特性への悪影響はないことが判明した。図11に温度85℃、湿度85%の条件下で300時間保持した後の膜剥れ発生状況を示す。図から明らかのように $x \leq 0.3$ である場合、膜剥れが発生しなかった。図12に酸化アルミニウム膜の消衰係数の酸素濃度依存性を示す。消衰係数は光の吸収の程度を示し、 $x \leq 0.2$ の場合には光の吸収は生じず、 $x=0.3$ でも実用上、光の吸収は問題にならない程度であった。図13に引掻き試験による臨界荷重の酸素濃度依存性を示す。臨界荷重とは引掻き試験において、膜の剥離が生じ始める荷重であり、密着性の指標となる。酸素欠損がない酸化アルミニウム膜では膜は殆ど密着しておらず非常に剥れやすいことがわかった。酸素欠乏状態となると密着性は改善し、 $x=0.2$ で最も密着性が高い良好な膜であることがわかる。酸素の欠損量がそれ以上に増加すると逆に密着性が低下した。経験的に臨界荷重が30mN以上の場合、実用上の問題はないと見做している。図14に高周波容量電圧特性測定より得られたInP/酸化アルミニウム膜界面の界面準位密度を示す。 $x=0.2$ 以下では界面準位は検出限界以下であり。 $x=0.3$ でもその量は僅かである。以上のように $x \leq 0.3$ で、実用上全く問題のない良好な特性を示すことがわかった。特に $\text{Al}_2\text{O}_{3-x}$  ( $x \leq 0.2$ )である場合には耐湿性の低下、光吸収の増加、界面準位の増加はいずれも検出限界以下であり極めて良好である。また、壁開などによる端面形成後、大気に触れることにより端面に生じる自然酸化膜は酸素欠乏状態の酸化アルミニウムを形成することにより、酸素が酸化アルミニウムに吸収され、清浄な



半導体/酸化アルミニウム界面が得られる。これにより図13に示したように反射膜の半導体との密着性が向上したと考えられる。

#### 【0013】

酸素欠乏状態とすることにより、酸素の半導体への拡散が抑制でき、半導体を形成する元素、特にアルミニウムと砒素、が酸素と結合することを防止することが出来るようになるため、端面の劣化を抑制することが出来る。図15は温度85℃で定出力駆動試験を行い、その後半導体レーザが最大光出力を出射するまで動作電流を流して非可逆的光学破壊劣化が生じるか調べた結果であるが、 $X \geq 0.03$ で非可逆的光学破壊劣化は生じなかった（図15で示す○印に示す様に、5000時間までの連続駆動試験では、非可逆的光学破壊は生じていない）。図16は100時間の定出力駆動試験を行った後にパルス上の直流電圧を印加し、静電破壊劣化が生じる電圧を調べた結果である。 $X \geq 0.03$ で500V以下では静電破壊劣化が生じなくなり、特に $X \geq 0.1$ で1000Vの電圧印加に対しても劣化が生じなくなった（図16で示す○印）。以上のように、化学量論組成に比して少なくとも1%以上の酸素欠損が存在する場合、即ち、 $Al_2O_{3-X}$  ( $0.03 \leq X$ )でCOD劣化と静電破壊耐圧の劣化の抑制効果が顕著である。特に $Al_2O_{3-X}$  ( $0.1 \leq X$ )である場合、レーザ駆動動作によるCOD劣化と静電破壊耐圧の劣化の抑制効果は最も良好となり、且つ効果は飽和の傾向を示す。

#### 【0014】

多層膜の総応力は各層の膜厚と内部応力の積の総和で定義されるが、総応力が大きいほど半導体結晶に生じる歪量は大きくなり、歪を緩和するように界面にイオン径の小さな軽元素が集まりやすくなる。即ち、界面に酸素が集まりやすくなり、劣化が促進される。図17に初期最大光出力に対する3000時間の定出力連続駆動試験後の最大光出力の比を示す。総応力が大きくなると最大出力の低下の割合が大きくなることがわかる。特に総応力が150 Pa・m以下の場合には光出力は熱飽和により最大出力が制限され非可逆的光学破壊劣化は生じなかった。一方、200 Pa・m以上では非可逆的光学破壊劣化が生じた。図18に100時間の定出力連続駆動試験後の静電破壊試験結果を示す。反射膜の総応力が150 Pa・m以下の場合には静電破壊耐圧は極めて良好であり、特に100 Pa・m以下では静電破壊耐圧は生じなかった（図18で示す○印）。以上のように、歪による劣化促進を抑制するためには図1に示す反射膜104、105の総応力を150 Pa・m以下にすることが必要であり、特に100 Pa・m以下の場合には劣化の促進は生じなくなった。総応力低減のためには、各層の内部応力の低減が必要であり、高屈折率膜として窒化珪素膜などの窒化膜は用いるべきではない。屈折率が大きく内部応力が比較的小さな、非晶質珪素膜を用いることにより膜厚も薄くなるため総応力は低減できる。非晶質珪素膜を用いることが困難な場合には酸化チタン膜を用いても良い。低屈折率膜として酸化アルミニウム膜、酸化珪素膜、若しくは弗化マグネシウム膜を用いることが出来る。アルゴンなどの希ガス元素を用いるスパッタ法においては、希ガス元素の膜中への混入が内部応力に影響を及ぼすことがある。酸化アルミニウム膜の内部応力を低減するためには膜中の希ガス元素量を出来るだけ低減することが必要であり、1 at%以下に制御する事により内部応力を150 MPa以下に制御できる。酸化珪素膜は希ガス元素の混入量が高い方が望ましく、3 at%以上で200 MPa以下に制御できた。低屈折率の膜の内部応力を低減し、且つ、層数が少なく膜厚が薄くなるように反射膜の構造を設計することで反射率0.1%以下の反射防止膜、反射率10%以下の低反射膜、反射率40%、70%、90%等の高反射膜の総応力を150 Pa・m以下にすることが出来る。特に反射率が40%以下の反射膜ではその総応力を100 Pa・mにすることは容易である。

#### 【発明の効果】

#### 【0015】

本発明によれば、半導体端面に $Al_2O_{3-X}$  ( $0.03 \leq X \leq 0.3$ )の酸素欠乏状態の酸化アルミニウムを半導体に隣接して形成することにより、半導体端面の自然酸化膜を除去でき、半導体への酸素の拡散を抑えることが出来るようになる。これによりレーザ駆動動作にともなう劣化を抑制でき半導体レーザの高信頼化を容易な方法で実現できるようになった。これに付随して歩留まりも向上し、低コスト化も実現できた。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0016】

以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。

## 【0017】

## &lt;実施例1&gt;

本発明の第1の実施例を図2及び3を用いて説明する。本実施例は、光ディスクや光磁気ディスクの書き込み用として用いられる $0.65\ \mu\text{m}$ 帯高出力半導体レーザに適用したものである。図2(a)は、断面構造を、図2(b)は活性層の拡大図を、図3は平面構造を示している。次に、素子作製方法について述べる。n-GaAs基板201上にGaAsバッファ層202、GaAsに格子整合したn-(Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>)InPクラッド層( $x = 0.7$ )203、GaAsに格子整合した(Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>)InP障壁層( $y = 0.45$ 、障壁層厚4 nm)204とIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>P歪量子井戸層( $z = 0.58$ 、井戸層厚8 nm)205、及び(Al<sub>s</sub>Ga<sub>1-s</sub>)InP SCH(Separate Confinement Heterostructure)層( $s = 0.55$ 、障壁層厚4 nm)206とから構成される歪量子井戸活性層207、GaAsに格子整合したp-(Al<sub>t</sub>Ga<sub>1-t</sub>)InPクラッド層( $t = 0.7$ )208、GaAsに格子整合したp-InGaPエッチストップ層209、GaAsに格子整合したp-(Al<sub>u</sub>Ga<sub>1-u</sub>)InPクラッド層( $u = 0.7$ )210、p-Al<sub>v</sub>Ga<sub>1-v</sub>Asキャップ層( $v = 0.7$ )211をMOVPE法、CBE法、またはMBE法により順次形成する。次に、酸化膜をマスクに、ホットエッチング工程により図2(a)に示すようなリッジを形成する。このときのエッチングはウエット、RIE、RIBE、イオンミリング等、方法を問わない。エッチングはp-InGaPエッチストップ層209で止め歪量子井戸活性層207に達しないようにする。次に、エッチングマスクとして用いた酸化膜を選択成長のマスクとして、図2(a)に示すようにn-GaAs電流狭窄層212をMOVPE法により選択成長する。その後成長炉からウエハを取りだし、選択成長マスクとして用いた酸化膜をエッチングにより除去する。その後、p-GaAsコンタクト層213をMOVPE法またはMBE法により形成する。p側オーミック電極214、n側オーミック電極215を形成した後、劈開法により共振器長約 $600\ \mu\text{m}$ のレーザ素子を得た。この後ヘリコン波プラズマ励起反応性蒸着法を用いて図3に示すように、素子の前面( $z = L$ )に $\lambda/4$ ( $\lambda$ : 発振波長)の厚さの3.3%酸素欠乏状態の酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>2.9</sub>)膜を形成して低反射膜216を、素子の後面( $z = 0$ )に5%酸素欠乏状態の酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>2.85</sub>)膜と酸化チタン膜の3周期膜からなる高反射膜217を形成した。なお、酸化アルミニウムは、反応性スパッタ法若しくはイオンビームスパッタ法を用いて成膜した。ここで、アルゴンガスと酸素ガスの混合ガスを用いて、プラズマ若しくはイオン線を金属アルミニウムターゲットに照射することにより成膜を行っている。

その後、素子を接合面を上にして、ヒートシンク上にボンディングした。試作した素子は、しきい値電流約14 mAで室温連続発振し、その発振波長は約 $0.65\ \mu\text{m}$ であった。また、素子は150 mWまで安定に横単一モード発振した。また、最大光出力として400 mW以上の光出力を得た。また、30素子について環境温度80℃の条件下で150 mW定光出力連続駆動させたところ、初期駆動電流は約300 mAであり、全ての素子で5万時間以上安定に動作した。

## 【0018】

本実施例では保護膜形成法としてヘリコン波プラズマ励起反応性蒸着法を用いたが、他の薄膜形成法、例えば化学気相蒸着(CVD)法、電子線(EB)蒸着法、イオンビーム(IB)蒸着法、スパッタリング法等を用いてもよい。

## 【0019】

## &lt;実施例2&gt;

本発明の第2の実施例を図4、5を用いて説明する。本実施例は、本発明を光伝送システムで中継器あるいは受信器に用いられる希土類添加光ファイバ増幅器励起用 $0.98\ \mu\text{m}$ 帯高出力半導体レーザに適用したものである。図4はファブリ・ペロー型共振器を有する半導体レーザの平面構造を、図5(a)は断面構造を、図5(b)は活性層の拡大図を示している。次に、素子の作製方法について述べる。n-GaAs基板501上にGaAsバッファ層502、GaAsに格子整合したn-InGaPクラッド層503、In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub>障壁層( $x = 0.82$ ,  $y = 0.63$ 、障壁層厚35 nm)504とIn<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>As歪量子井戸層( $z = 0.16$ 、井戸層厚7 nm)505から構成される歪量子井戸活性層506、GaAs基板に格子整合したp-InGaPクラッド層507、p-GaAs光導波路層508、GaAsに格子整合したp-InGaPクラッド層509、p-GaAsキャップ層510をMOVPE法、ま

たはガスソースMBE法、またはCBE法により順次形成する。次に、酸化膜をマスクに、ホットエッチング工程により図5(a)に示すようなリッジを形成する。このときのエッチングはウェット、RIE、RIBE、イオンミリング等、方法を問わない。エッチングはP-GaAs光導波路層508を完全に除去し、且つ歪量子井戸活性層506に達しないようにp-InGaPクラッド層507の途中で止まるようにする。次に、エッチングマスクとして用いた酸化膜を選択成長のマスクとして、図5(a)に示すようにn-InGaP電流狭窄層511をMOVPE法により選択成長する。その後成長炉からウエハを取りだし、選択成長マスクとして用いた酸化膜をエッチングにより除去する。その後、p-GaAsコンタクト層512をMOVPE法またはMBE法により形成する。p側オーミック電極513、n側オーミック電極514を形成した後、劈開法により共振器長約900  $\mu\text{m}$ のレーザ素子を得る。この後、素子の前面( $z = L$ )にスパッタリング法により、厚さ $\lambda/4$ ( $\lambda$ : 発振波長)の5%酸素欠乏状態の酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_{2.85}$ )からなる低反射膜401を、素子の後面( $z = 0$ )に6.7%酸素欠乏状態の酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_{2.8}$ )膜と非晶質珪素(a-Si)薄膜とからなる6層膜による高反射膜402を形成した。その後、素子を接合面を下にして、ヒートシンク上にボンディングした。試作した素子は、しきい値電流約10 mAで室温連続発振し、その発振波長は約0.98  $\mu\text{m}$ であった。また、素子は700 mWまで安定に横単一モード発振した。また、光出力を増加させても端面劣化は起こらず、最大光出力800 mWは熱飽和により制限された。また、30素子について環境温度80℃の条件下で500 mW定光出力連続駆動させたところ、初期駆動電流は約400 mAであり、全ての素子で10万時間以上安定に動作した。

#### 【0020】

本実施例では保護膜形成法としてスパッタリング法を用いたが、他の薄膜形成法、例えばCVD法、EB蒸着法、IB蒸着法、ヘリコン波プラズマ励起反応性蒸着法を用いてもよい。

#### 【0021】

##### <実施例3>

本発明を適用した第3の実施例を図6、7を用いて説明する。本実施例は、本発明を加入者用光伝送システムで光源に用いられる1.3  $\mu\text{m}$ 帯半導体レーザに適用したものである。図6は半導体レーザの斜視構造を、図7は断面構造を示している。次に、素子の作製方法について述べる。n-InP基板601、701上にn-InPバッファ層702を成長した後、InPに格子整合したn型InAlAsクラッド層703とn-InGaAlAs 下側SCH層704、InGaAlAs歪障壁層(バンドギャップ1.32 eV、障壁層厚8 nm)とInGaAlAs歪量子井戸層(バンドギャップ0.87 eV、井戸層厚6 nm)から構成される歪量子井戸活性層705、InP基板に格子整合したp-InGaAlAs 上側SCH層706、p型InAlAs第1クラッド層707、p型InP第2クラッド層708、p-InGaAsキャップ層709、p-InGaAsコンタクト層710をMOVPE法、またはガスソースMBE法、またはCBE法により順次形成する。次に、絶縁膜などをマスクに、ホットエッチング工程により図2に示すようなリッジを形成する。このときのエッチングは湿式法、RIE、RIBE、イオンミリング等、方法を問わない。エッチングは歪量子井戸活性層705に達しないようにp-InP第2クラッド層708の途中で止まるようにする。次にp型InGaAsコンタクト層710表面以外の領域はプラズマCVD法により形成した酸化シリコン膜(図示せず)により覆われている。その上にp側電極711として厚さ100nmのチタン、厚さ100nmの白金、厚さ600nmの金を順に蒸着し、リッジ上面と配線用パッド(図示せず)が残るように形状加工する。次に、n型InP基板701の下面を研磨して120  $\mu\text{m}$ に薄くした後、金-ゲルマニウム、ニッケル、金を蒸着してn側電極712を形成する。この半導体レーザウエハを劈開し、一對のレーザ共振器端面を形成する。その後、前方、後方の両端面にスパッタ法を用いて、5%酸素欠乏状態の酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_{2.85}$ )膜からなる端面保護膜713を形成し、更にその上層に非晶質珪素膜、酸化珪素膜、酸化アルミニウム膜などからなる反射膜714、715を形成して端面の反射率が40%と75%となるように調整する。この半導体レーザ素子601をシリコンサブマウントにジャンクションアップ法でハンダ材により接続し、素子電極とパッケージ電極リードとを金ワイヤで接続する(図示せず)。酸化アルミニウムの形成には、金属アルミニウムをターゲットとし、アルゴンと酸素の混合ガスを導入してプラズマを形成し、ターゲット表面からスパッタされたアルミニウムと酸素を反応させて酸化膜を形成した。酸素分圧を制御することにより酸化

アルミニウム膜の組成を制御することが可能である。本実施例ではアルゴン流量40 sccm、酸素流量8 sccmとして $\text{Al}_2\text{O}_{2.85}$ の酸化アルミニウム膜を得た。前方反射膜714の総応力は50 Pa・m、後方反射715の総応力はPa・mであった。試作した素子は、しきい値電流約6 mA で室温連続発振し、その発振波長は約 $1.3\mu\text{m}$ であった。また、素子は最大光出力80 mWまで安定に横単一モード発振した。また、光出力を増加させても端面劣化は起こらず、最大光出力80 mWは熱飽和により制限された。また、30素子について環境温度80℃の条件下で15 mW定光出力連続駆動させたところ、全ての素子で端面劣化することなく1万時間以上安定に動作した。

#### 【0022】

なお、本発明は導波路構造によらないので、たとえば、上述した実施例のほかに導波路構造としてBH (Buried Heterostructure)構造を用いても良い。活性層に沿って回折格子を有する分布帰還型半導体レーザ構造であっても良い。さらには共振器に隣接して光変調器または波長変換素子を集積した集積化光源であっても良い。また、発振波長として上述した $1.3\mu\text{m}$ 帯のほか、 $0.98\mu\text{m}$ 帯、 $1.48\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザや $0.6\mu\text{m}$ 帯赤色半導体レーザに適用できることは言うまでもない。反射膜に用いる高屈折率膜として非晶質硅素膜、酸化チタン膜、酸化タンタル膜、酸化ハフニウム膜等の屈折率1.9以上の材料を用いることが望ましい。低屈折率膜として二酸化硅素膜、酸化アルミニウム膜、弗化マグネシウム膜等の屈折率1.7以下の材料を用いることが望ましい。端面保護膜と反射膜の成膜にはスパッタ法を用いたが、これにはグロー放電スパッタ法、高周波スパッタ法、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法、イオンビームスパッタ法など多種多様な手法があり、いずれの手法を用いても良い。また他の薄膜形成法、例えばCVD法、EB蒸着法、IB蒸着法、ヘリコン波プラズマ励起反応性蒸着法を用いてもよい。

#### 【0023】

##### <実施例4>

図8は本発明を用いて別構造を有する波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯の分布帰還型半導体レーザを作製した例である。p型の基板801を用いる点および埋め込みヘテロ構造を採用している点が実施例3との主だった相違点である。p型基板801を用いることにより実施例3の素子に比べ、正孔の活性層への注入効率が改善される。

図9に示すように、p型(100)InP半導体基板901上に有機金属気相成長法によりp型InPバッファ層 $1.5\mu\text{m}$  902、p型InAlAsバッファ層 $0.1\mu\text{m}$  903、アンドープInGaAlAs下側ガイド層 $0.1\mu\text{m}$  904、アンドープの7周期のInGaAlAs系多重量子井戸層(5nm厚の1.2%圧縮歪InGaAlAs(組成波長 $1.37\mu\text{m}$ )井戸層、8nm厚のInGaAlAs(組成波長 $1.00\mu\text{m}$ )障壁層) 905、アンドープInGaAlAs中間ガイド層 $0.1\mu\text{m}$  906、アンドープInGaAlAsP組成傾斜層907、アンドープのInGaAsP(組成波長 $1.05\mu\text{m}$ )中間ガイド層 $0.05\mu\text{m}$  908、アンドープの3周期のInGaAsP系多重量子井戸層(5nm厚の1.0%圧縮歪InGaAsP(組成波長 $1.37\mu\text{m}$ )井戸層、8nm厚のInGaAsP(組成波長 $1.00\mu\text{m}$ )障壁層) 909、n型InP第1クラッド層 $0.01\mu\text{m}$  910を順次成長する。多重量子井戸活性層905、909の発光波長は共に約 $1.31\mu\text{m}$ である。本実施の形態の場合はp型基板を使用しているため電子供給と電子のp型層への漏洩が未然に防止できるバンド構造となっている。さらに組成傾斜層907の導入により、InGaAsP量子井戸活性層909からInGaAlAs量子井戸活性層905への電子に対する障壁が低減されている。

#### 【0024】

次に通常の干渉露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチングによりInGaAsP量子井戸活性層909およびn型InP第1クラッド層910の一部を図5に示すように周期的にエッチング除去し、回折格子911を基板全面に形成する。回折格子911の周期は201nmである。回折格子の深さは約50nmとし、回折格子がInGaAsP量子井戸活性層909を貫通しInGaAsP中間ガイド層908に達するようにする。続いて、公知のウェットエッチングにより、ドライエッチングで自動形成されたエッチング表面のダメージ層数nmを除去した後、アンドープInP第2クラッド層 $0.4\mu\text{m}$  912、n型InGaAsP(組成波長 $1.3\mu\text{m}$ )キャップ層 $0.1\mu\text{m}$  913を順次再成長する。以上の工程により、InGaAlAs系多重量子井戸層905の上部にInGaAsP系の利得回折格子911が形成された利得結合分布帰還型レーザの基本構造が作製された。本レー

ザの規格化光結合係数は約4.0である。

#### 【0025】

続いて、本ウエハは公知の埋め込みヘテロ型レーザに加工され、図8に示すレーザダイオードチップが完成する。共振器長は $200\mu\text{m}$ である。スパッタ法を用いて前端面、後端面に6.7%酸素欠乏状態の酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_{2.8}$ )膜からなる端面保護膜を形成した後、それぞれの端面の反射率が0.1%、70%となるように非晶質珪素膜と酸化アルミニウム膜からなる反射膜914、915を形成した。

#### 【0026】

作製した $1.3\mu\text{m}$ 帯の分布帰還型半導体レーザ素子は室温、連続条件においてしきい値電流3mA、発振効率0.35W/Aであった。また、簡易な作製を反映して、 $85^\circ\text{C}$ の高温においてもしきい値電流9mA、発振効率0.25W/Aと良好な発振特性を得た。 $85^\circ\text{C}$ の高温において1万時間、10mWの連続動作試験を行ったが、端面劣化は生じていないことが明らかになった。このように、本発明によれば従来のInGaAlAs系半導体レーザの信頼性向上が可能となる。本構造は $1.3\mu\text{m}$ 帯のみならず $1.55\mu\text{m}$ 帯や他の波長帯の分布帰還型半導体レーザにも適用可能である。また、単体のレーザのみならず、機能集積型の集積光素子にも適用できることは自明である。端面保護膜と反射膜の成膜にはスパッタ法を用いたが、これにはグロー放電スパッタ法、高周波スパッタ法、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法、イオンビームスパッタ法など多種多様な手法があり、いずれの手法を用いても良い。また、他の薄膜形成法、例えばCVD法、EB蒸着法、IB蒸着法、ヘリコン波プラズマ励起反応性蒸着法を用いてもよい。

#### 【0027】

##### <実施例5>

図10は本発明による実施例3または4の半導体レーザ1001をヒートシンク1002上に実装した後、光学レンズ1003、後端面光出力モニタ用のフォトダイオード1004、光ファイバ1005とレーザ駆動用ドライバIC 1006とを一体化したモジュールの斜視図である。作製したモジュールは $-40\sim 85^\circ\text{C}$ の広い温度範囲において副モード抑圧比40dB以上の安定な単一モード動作を95%以上の高い作製歩留まりで実現した。また、動作速度10Gbit/sで消光比8dB以上の明瞭なアイ開口を得た。本レーザ素子では長期連続動作においても劣化がないのでモジュールの高信頼化と長寿命化に非常に有効であり、システム全体のトータルコストの低減にも非常に有効である。

#### 【0028】

本発明によれば、半導体レーザの長期信頼性が向上するため、CD、DVDなどの記録媒体の読み書き用光源の半導体レーザに適用可能である。更に、光通信システムにも利用可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0029】

- 【図1】 本発明の構成を半導体レーザを用いて説明した図。
- 【図2】 本発明の実施例1によるレーザの横断面構造を示した図。
- 【図3】 本発明の実施例1によるレーザの平面構造を示した図。
- 【図4】 本発明の実施例2によるレーザの平面構造を示した図。
- 【図5】 本発明の実施例2によるレーザの横断面構造を示した図。
- 【図6】 本発明の実施例3によるレーザの斜視構造を示した図。
- 【図7】 本発明の実施例3によるレーザの縦断面構造を示した図。
- 【図8】 本発明の実施例4によるレーザの構造を示した図。
- 【図9】 本発明の実施例4によるレーザの縦断面構造を示した図。
- 【図10】 本発明による実施例3若しくは4による半導体レーザを実装したモジュールの構造を示した斜視図。
- 【図11】 酸素欠損量に対する剥れ発生率を示す図。
- 【図12】 酸素欠損量に対する消衰係数を示す図。
- 【図13】 酸素欠損量に対する臨界荷重を示す図。

- 【図 14】 酸素欠損量に対する最小界面準位密度を示す図。  
【図 15】 酸素欠損量に対する定出力連続駆動試験時間を示す図。  
【図 16】 酸素欠損量に対する静電破壊耐圧を示す図。  
【図 17】 反射膜の総応力に対する規格化最大出力を示す図。  
【図 18】 反射膜の総応力に対する静電破壊耐圧を示す図。

【符号の説明】

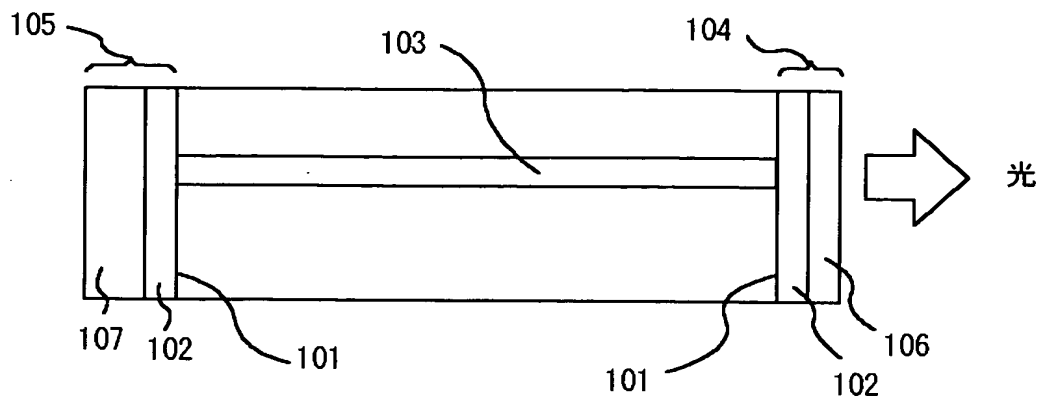
【0030】

101…半導体レーザの共振器端面、102…酸素欠乏状態の酸化アルミニウム膜、103…活性層、104…前方端面反射膜、105…後方端面反射膜、106, 107…光学薄膜、201…n-GaAs 基板、202…n-GaAs バッファ層、203…GaAs に格子整合した n-AlGaInP クラッド層、204…AlGaInP 障壁層、205…InGaP 歪量子井戸層、206…AlGaInP-SCH 層、207…歪量子井戸活性層、208…p-AlGaInP クラッド層、209…p-InGaP エッチストップ層、210…p-AlGaInP クラッド層、211…p-AlGaAs キャップ層、212…n-GaAs 電流狭窄層、213…p-GaAs コンタクト層、214…p 側オーミック電極、215…n 側オーミック電極、216…低反射膜、217…高反射膜、218…活性層、401…低反射膜、402…高反射膜、403…活性層、501…n-GaAs 基板、502…n-GaAs バッファ層、503…n-InGaP クラッド層、504…InGaAsP 障壁層、505…InGaAs 歪量子井戸層、506…歪量子井戸活性層、507…GaAs 基板に格子整合した p-InGaP クラッド層、508…p-GaAs 光導波路層、509…GaAs に格子整合した p-InGaP クラッド層、510…p-GaAs キャップ層、511…n-InGaP 電流狭窄層、512…p-GaAs コンタクト層、513…p 側オーミック電極、514…n 側オーミック電極、601…本発明による実施例 3 による半導体レーザ素子、701…n-InP 基板、702…n-InP バッファ層、703…InP に格子整合する n-InAlAs クラッド層、704…n-InGaAlAs 下側 SCH 層、705…InGaAlAs 歪量子井戸活性層、706…InP に格子整合する p-InGaAlAs 上側 SCH 層、707…p-InAlAs 第 1 クラッド層、708…p-InP 第 2 クラッド層、709…p-InGaAs キャップ層、710…p-InGaAs コンタクト層、711…p 側オーミック電極、712…n 側オーミック電極、713…酸素欠乏状態の酸化アルミニウム膜、714…反射率 40% の前方反射膜、715…反射率 75% の後方反射膜、801, 901…p-InP 基板、902…p-InP バッファ層、903…InP に格子整合する p-InAlAs バッファ層、904…InGaAlAs 下側グレーデッド型ガイド層、905…InGaAlAs 系多重量子井戸層、906…InGaAlAs 中間ガイド層、907…InGaAlAsP 組成傾斜層、908…InGaAsP 中間ガイド層、909…InGaAsP 系多重量子井戸層、910…n-InP 第 1 クラッド層、911…回折格子、912…un-InP 第 2 クラッド層、913…n-InGaAsP (組成波長  $1.3\mu\text{m}$ )、914…反射率 0.1% の前方反射防止膜、915…反射率 70% の後方高反射膜、1001…半導体レーザ、1002…ヒートシンク、1003…光学レンズ、1004…モニタ用のフォトダイオード、1005…光ファイバ、1006…レーザ駆動用ドライバ IC、1007…筐体、1008…ファイバスリーブ、1009…高周波コネクタ。

【書類名】 図面

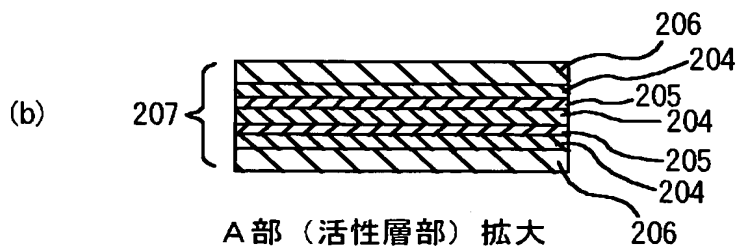
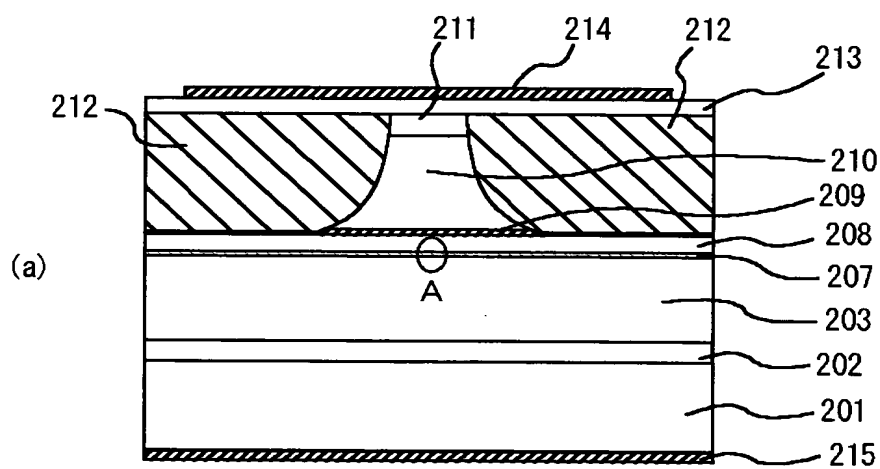
【図 1】

図 1



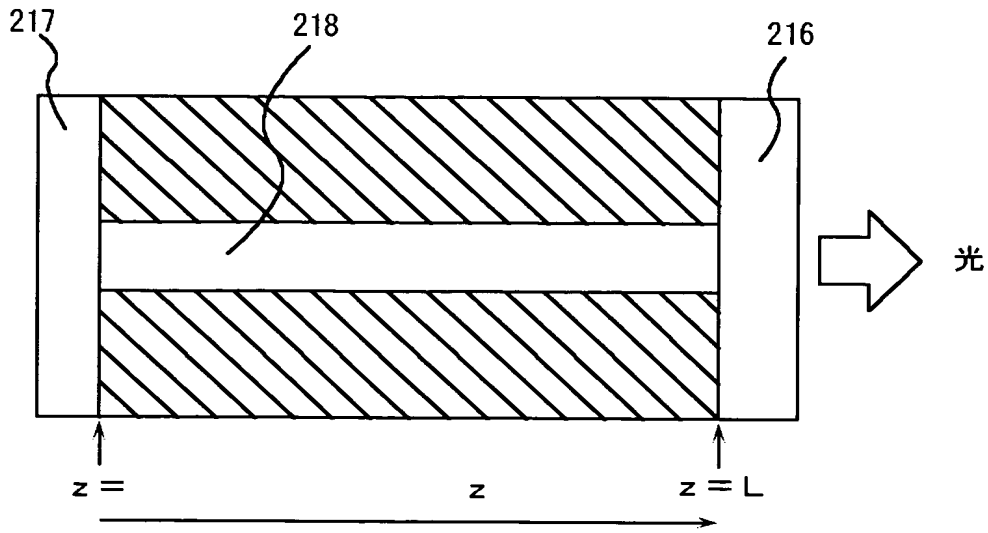
【図 2】

図 2



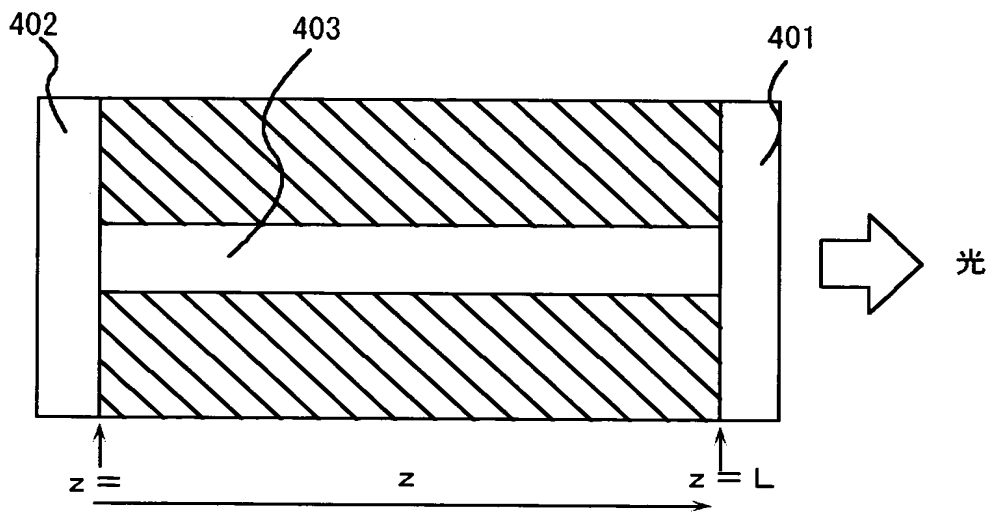
【図 3】

図 3



【図 4】

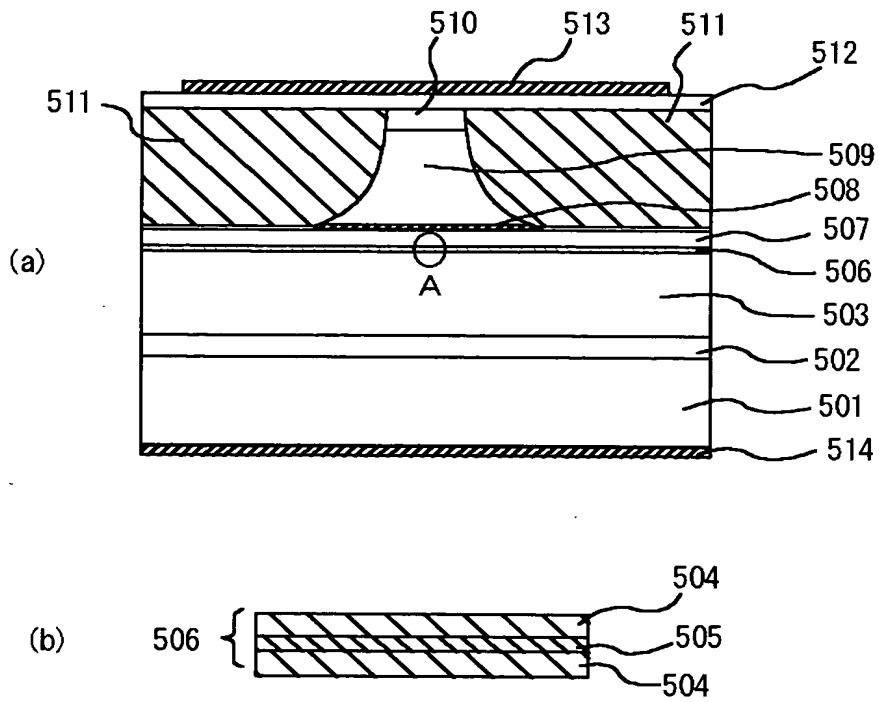
図 4





【図 5】

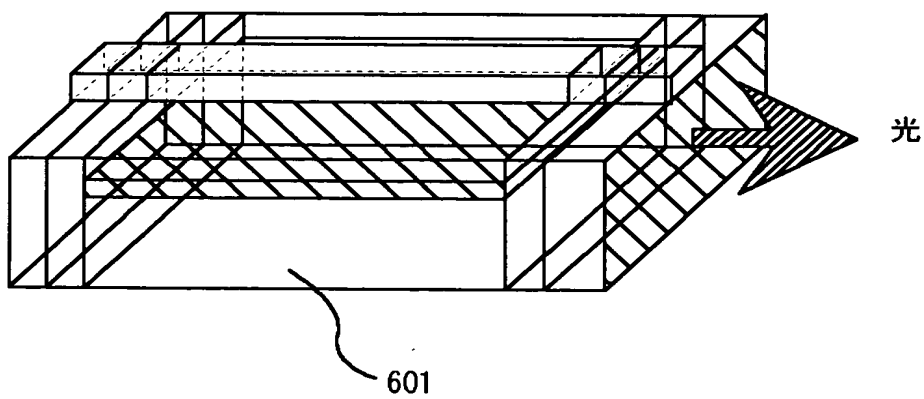
図 5



A 部（活性層部）拡大図

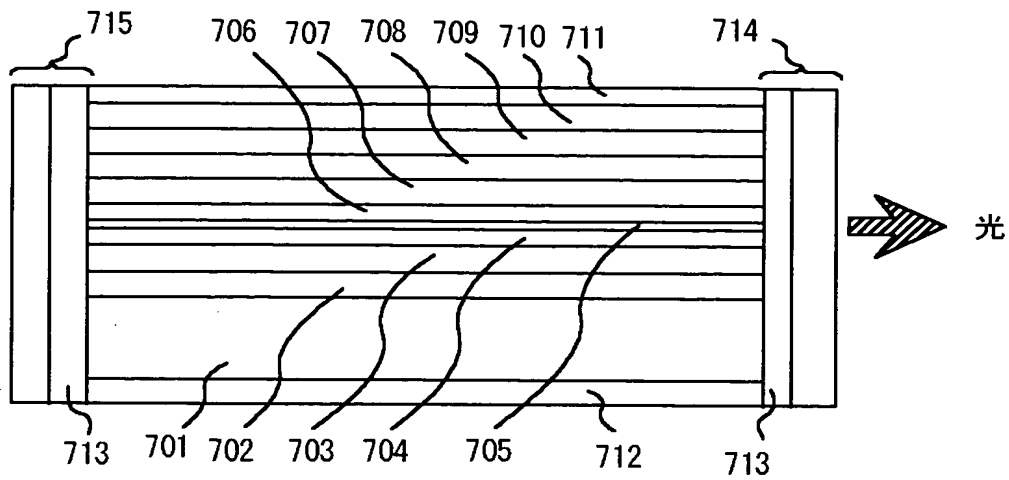
【図 6】

図 6



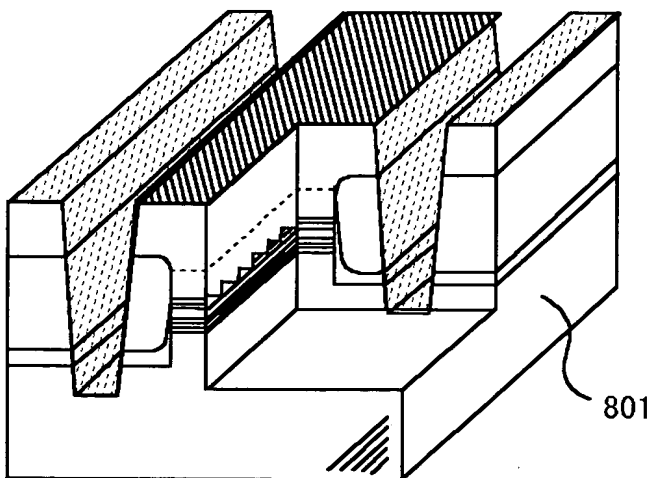
【図 7】

図 7



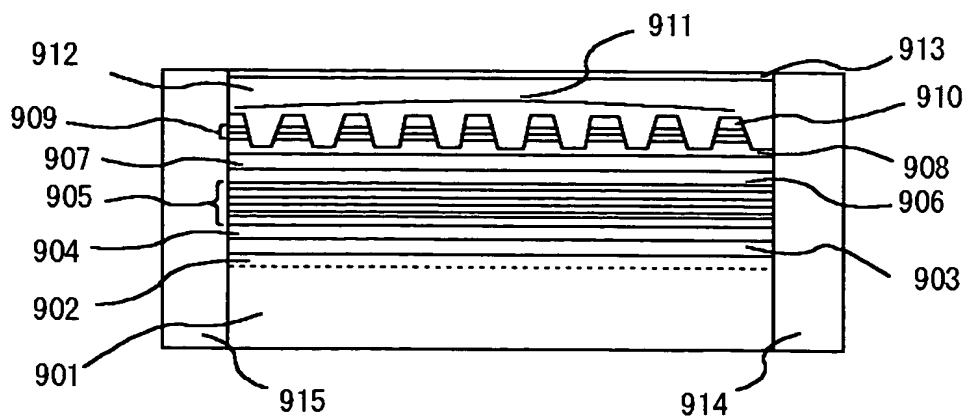
【図 8】

図 8



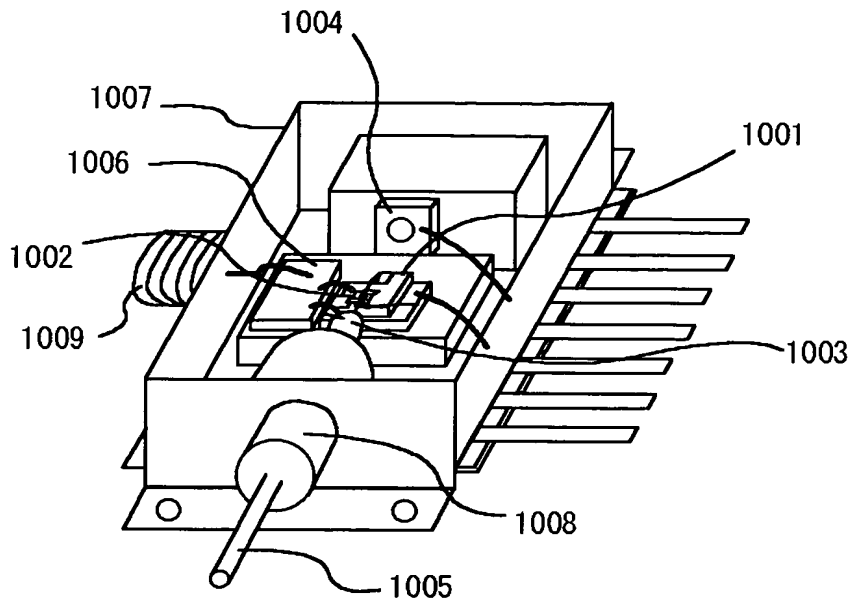
【図 9】

図 9



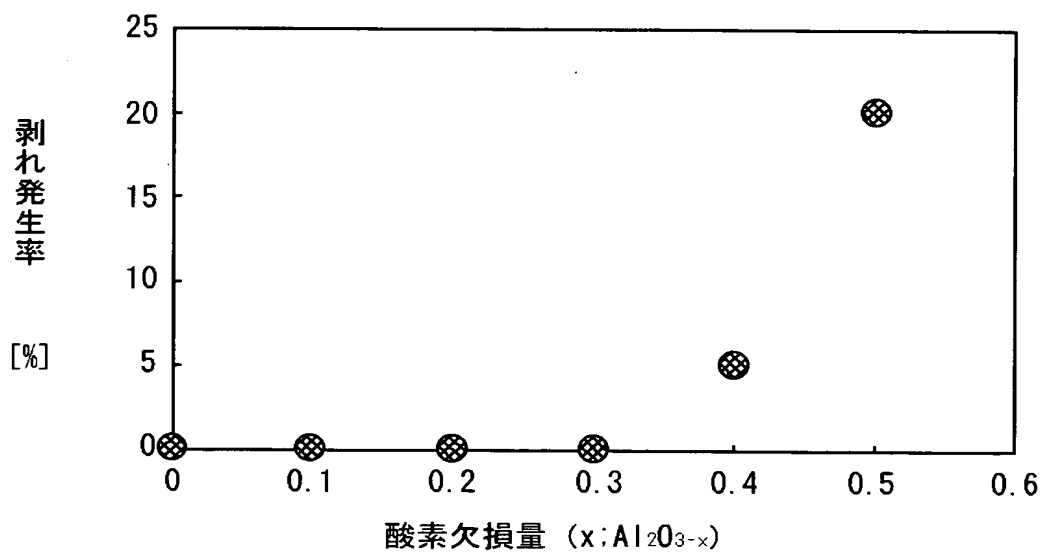
【図 10】

図 10



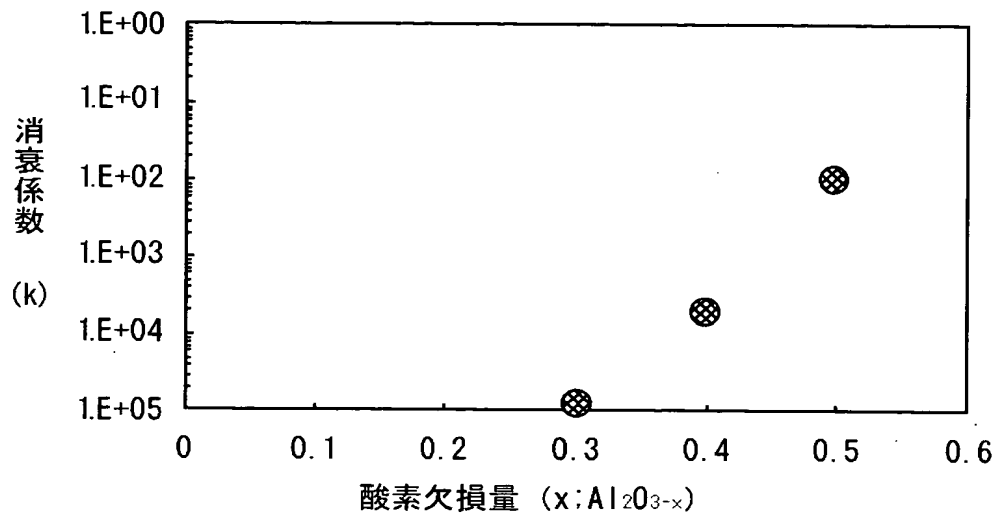
【図 11】

図 11



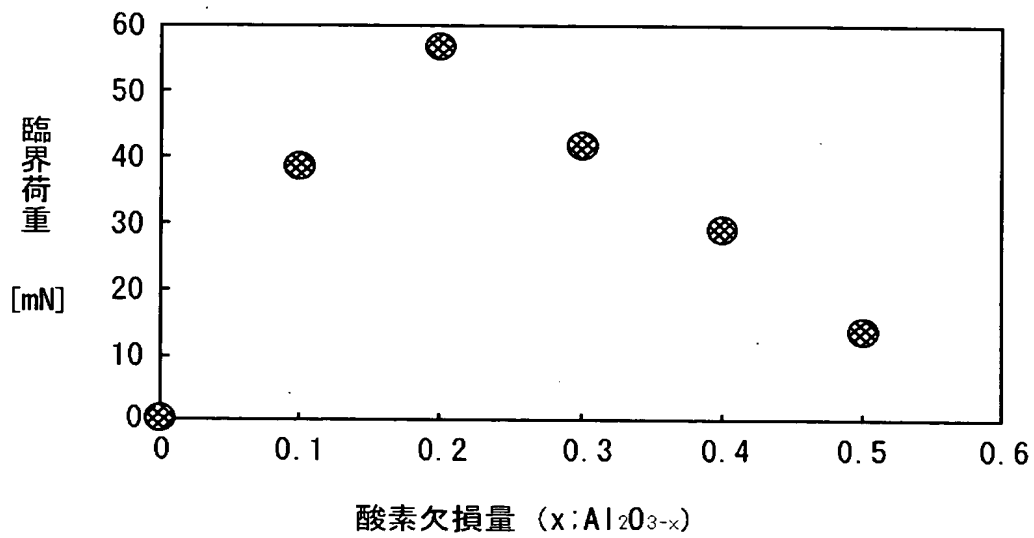
【図 1 2】

図 1 2



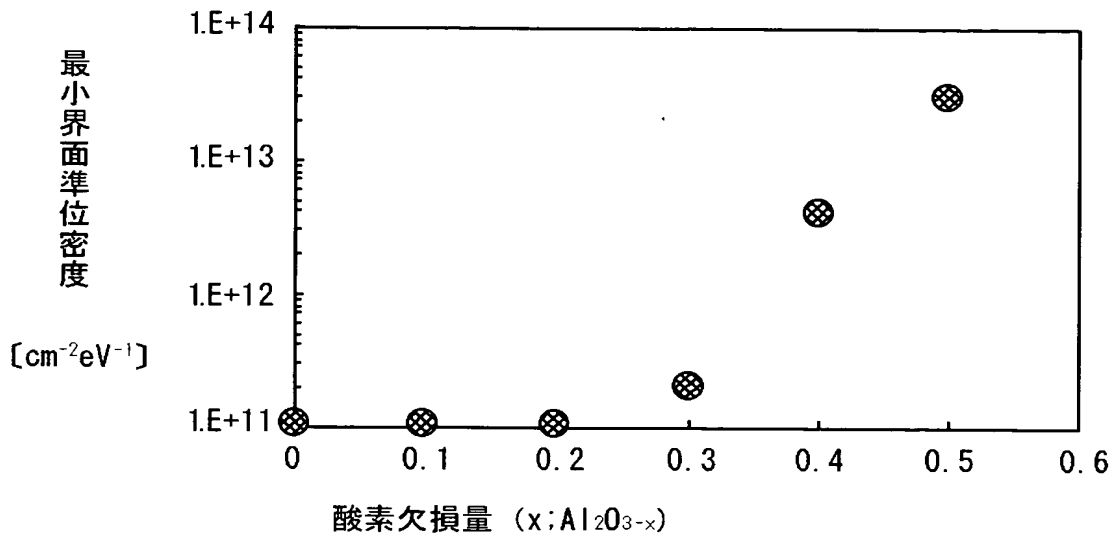
【図 1 3】

図 1 3



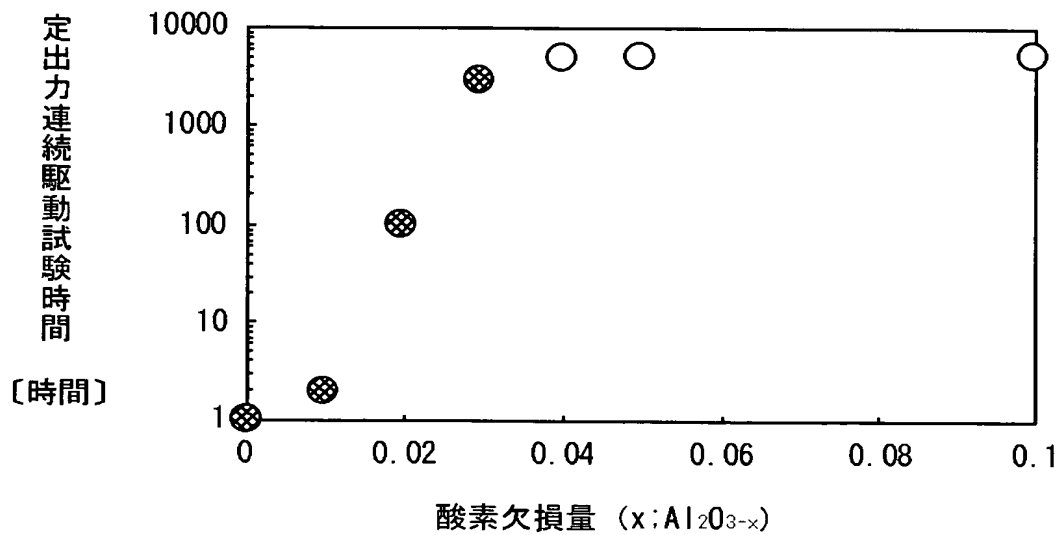
【図 14】

図 14



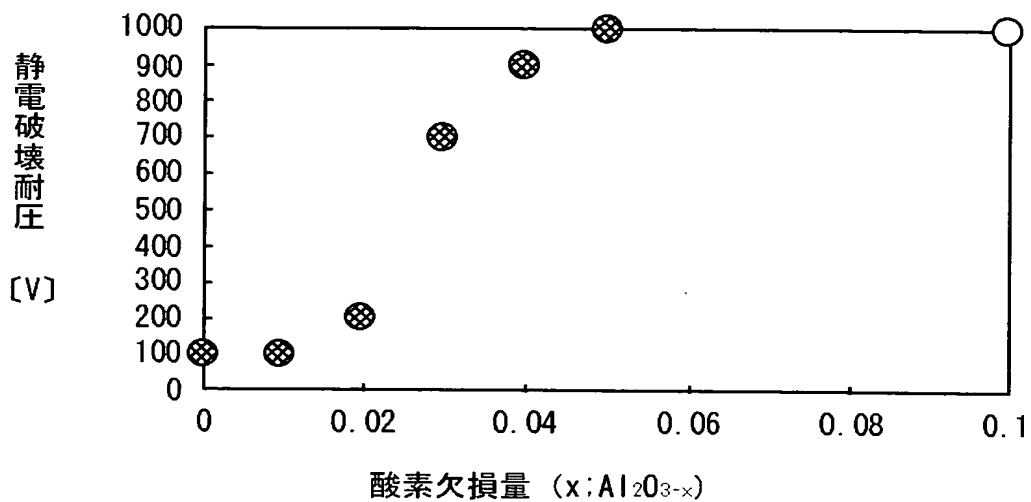
【図 15】

図 15



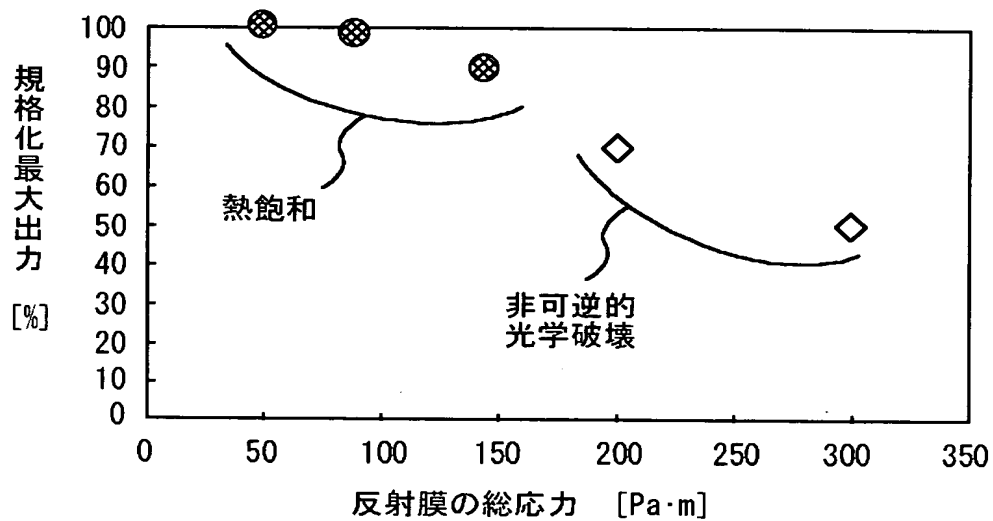
【図 16】

図 16



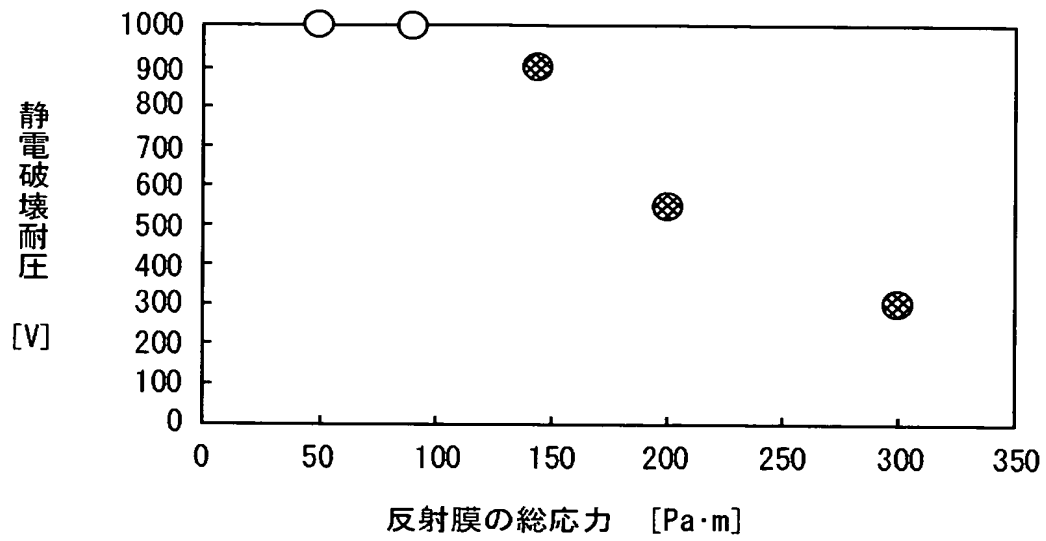
【図 17】

図 17



【図 18】

図 18



**【書類名】 要約書****【要約】****【課題】**

従来の、特に活性層に高濃度にアルミニウムを含む半導体レーザでは、レーザ駆動動作に伴う端面劣化が著しく、高信頼化が困難であった。

**【解決手段】**

共振器の端面に半導体に隣接して酸素欠乏状態の酸化アルミニウム膜を形成する。

**【効果】**

本発明により、端面劣化を抑制することが出来るので、端面劣化を起こすことなく高温長時間動作を行うことが出来るようになり、低コストで高信頼性の半導体レーザを作製出来る。

**【選択図】** 図 1



特願 2 0 0 3 - 4 1 1 4 0 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 1 0 8 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 3 1 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地
氏 名	株式会社日立製作所

特願 2 0 0 3 - 4 1 1 4 0 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 3 0 1 0 0 5 3 7 1 ]

1. 変更年月日 2 0 0 1 年 3 月 1 6 日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町 2 1 6 番地

氏 名 日本オブネクスト株式会社